

Simulering av ventetid og effektivitet i sykehus

Separate eller
kombinerte avdelinger
for akutte og elektive
pasienter

Gunn Kristin Tjoflot
*Institutt for helseledelse og
helseøkonomi, UiO*

Hans Th. Waaler
*Nasjonalt kunnskapssenter for
helsetjenesten*

Tor Iversen
*Institutt for helseledelse og
helseøkonomi*

**UNIVERSITETET
I OSLO**
HELSEØKONOMISK
FORSKNINGSPROGRAM
Skriftserie 2006: 4

HERO

Simulering av ventetid og effektivitet i sykehus

Separate eller kombinerte avdelinger for akutte og elektive pasienter

Gunn Kristin Tjoflot¹,
Hans Th. Waaler², Tor Iversen³

Helseøkonomisk forskningsprogram ved Universitetet i Oslo
HERO 2006

Nøkkelord: Venteliste, sykehus, kirurgi, systemdynamikk, pasientstrømmer, øyeblikkelig hjelp

Kontaktperson: ¹ Gunn Kristin Tjoflot, Institutt for helseledelse og helseøkonomi, Universitetet i Oslo, Postboks 1089, 0317 Oslo
E-post: gtjoflot@medisin.uio.no

² Hans Thomas Waaler, Nasjonalt kunnskapssenter for helsetjenesten

³ Tor Iversen, Institutt for helseledelse og helseøkonomi, Universitetet i Oslo

Sammendrag

Mange sykehus opplever uønskede strykninger av elektive operasjoner fordi øyeblikkelig hjelp pasienter må prioriteres. Den elektive pasienten henvises til venting til det igjen er ledig kapasitet. Skjerming av sykehusenes elektive virksomhet er derfor et tilbakevendende tema i den helsepolitiske debatten. I denne artikkelen diskuterer vi fordeler og ulemper med skjerming av elektiv virksomhet med utgangspunkt i resultatene fra en simuleringsmodell. Modellsimuleringene er gjort med det norskutviklede dataprogrammet *Powersim Constructor* (versjon 2.5). En kombinert avdeling som både behandler akutte og elektive pasienter forventes å ha kortere ventetider og mindre overtidsbruk enn en løsning med separat akutt og separat elektiv avdeling. Bakgrunnen for dette er at større fleksibilitet i den kombinerte avdelingen i ressursbruk i behandling av elektive og akutte pasienter oppnår høyere gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse. I den kombinerte avdelingen står pasientene i fare for å bli strøket av programmet på operasjonsdagen siden de konkurrerer med akutte pasienter om kapasitet. Som kompensasjon for denne ulempen får de kortere ventetid i ordinær kø før behandling. Resultatene tyder på at skjerming av elektiv virksomhet i seg selv ikke er så gunstig som antatt siden den samlede kapasitetsutnyttelsen for begge avdelinger blir mindre enn ved den kombinerte avdelingen. Imidlertid kan separate avdelinger medføre muligheter for effektivisering av den elektive virksomheten som igjen vil kunne bidra til kortere ventetider.

Innledning

En diagnose er klar, en beslutning er tatt: pasienten skal behandles på sykehus. Dato for operasjon blir bestemt, pasienten møter opp, blir lagt inn, men får så beskjed om utsettelse av operasjonen og blir kanskje hjemsendt. Begrunnelsen er mangel på kapasitet på grunn av uventet tilstrømning av øyeblikkelig hjelp pasienter som må gis prioritet. Dette oppleves frustrerende for den elektive pasienten. En umiddelbar løsning på kapasitetsproblemet er å foreslå separate avdelinger for de elektive og de akutte pasientene. Frustrasjonsproblemet kan synes løst.

I denne artikkelen vil vi argumentere for at problemet trolig er mer sammensatt. Mens noen momenter trekker i retning av separate akutt- og elektive avdelinger, trekker andre i motsatt retning, altså for en kombinert akutt og elektiv avdeling. Formålet med artikkelen er å diskutere disse momentene med utgangspunkt i resultater fra en simuleringsmodell. Vårt utgangspunkt er at det ikke er aktuelt å bygge ut kapasitet på en avdeling slik at man unngår all kø og venting uansett organisasjonsform. Siden ressurser har alternative anvendelser og den marginale kapasiteten sjelden vil bli brukt er dette en samfunnsøkonomisk tvilsom løsning.

Artikkelen er tidligere publisert i en noe forkortet versjon i Tidsskrift for Den Norske lægeforening, nr. 11, 2005; 125: 1472-5. Denne versjonen inneholder i tillegg til det som allerede er publisert i kortversjonen mer utfyllende om metode og systemdynamikk, en enkel modell over faktorer som påvirker avdelingens evne til å utnytte kapasiteten effektivt presenteres, samt at det er tatt med samtlige figurer med simuleringsresultatene vi har basert tidsskrift artikkelen på.

En separat akuttavdeling må ha en kapasitet som er i stand til å ta imot et antall øyeblikkelig hjelp pasienter som er delvis uforutsigbart. Avdelingen må være i stand til å møte ulykker og epidemier av betydelig omfang. Kravet til kapasitet vil nødvendigvis medføre at avdelingen i perioder har ubrukt kapasitet. Ubrukt kapasitet vil nødvendigvis medføre lengre gjennomsnittlig ventetid for de elektive pasientene enn hva som kunne ha vært tilfelle hvis den ledige kapasiteten kunne vært utnyttet til å behandle elektive pasienter. En times arbeidsløshet er av en dimensjon som ikke kan lagres til senere benyttelse. En

smidig og problemfri behandling av elektive pasienter etter ankomst kan med andre ord måtte betales med lengre ventetid for de samme elektive pasientene før ankomst.

Slike kvalitative sammenhenger kan vi resonnerer oss frem til ad logisk vei. Verre blir det å kvantifisere sammenhengene. I hvilken grad påvirkes de av sykehusets størrelse og opptaksområde, kapasitet i forhold til befolkning, av størrelsesforholdet mellom de to avdelingene, av ankomstmønsteret for de to pasientkategorier?

Man kan tenke seg flere måter å skaffe seg systematisk kunnskap om sammenhengene på.

1. En statistisk adekvat eksperimentell tilnærming (randomisert forsøk) er umulig, fordi man ikke kan styre pasientenes ankomst og behandlingstid i lukkede eksperimenter.
2. Man kan basere seg på egen personlig erfaring fra sykehus og prøve seg fram over tid. (Min erfaring er...). Dette krever systematisk observasjon av mange parametere og variable over lang tid. Det er vanskelig å oppnå svar med generell gyldighet.
3. Sykehusets dynamikk kan defineres i matematiske termer. Samspillet mellom pasientstrømmene og sykehusets kapasitet er så komplisert at man neppe er i stand til å løse likningssystemet eksplisitt.
4. Kompleksiteten kan angripes ved simulering av de matematiske sammenhengene. Her finnes det programvarer som er utviklet til å undersøke og løse komplekse systemer. En slik simuleringsmodell må være kompleks nok til å være realistisk og enkel nok til å være gjennomskuelig.

I denne artikkelen vil vi forsøke å skaffe systematisk kunnskap ved simulere sammenhengene ved hjelp av matematiske modeller. Vår problemstilling er å sammenligne separate akutte og elektive avdelinger versus kombinerte avdelinger, men modellen har potensial til å analysere også andre problemer knyttet til planlegging og drift av sykehus.

Materiale og metode

Til modelleringen av de to alternative organisasjonsmåtene for en kirurgisk virksomhet har vi valgt å bruke det norskutviklede dataprogrammet *Powersim Constructor 2.5* som gir oss numeriske simuleringer (1, 2). Systemdynamikk er et sett med verktøy som muliggjør forståelse av struktur og dynamikk i komplekse systemer. Man utvikler datamodeller for simulering av tiltak og målet er å etablere kunnskap om virkningen av ulike tiltak og strategier. Systemdynamikk forutsetter at objektet man vil undersøke består av deler som virker sammen og fungerer som en helhet. I systemdynamikk forutsettes det også at det er endringer over tid i det man vil undersøke, fenomenet har med andre ord en viss dynamikk og er ikke statisk.

I det virkelige liv finnes det årsak virkning forhold som man ønsker å få kunnskap om hvordan virker under ulike forutsetninger. Simuleringer er et nyttig verktøy for å teste ut problemstillinger og å analysere hendelsesforløp i en risikoløs verden (3, 4, 5, 6, 7).

Simuleringene i Powersim har sitt grunnlag i systemdynamisk tankegang og analyserer sammenhenger mellom ulike tilstander og strømmer av for eksempel en vare eller hvilken som helst annen beholdning. I vår simuleringsmodell er beholdningen pasientene som ankommer til sykehuset. Pasientene befinner seg i behandlingsprosessen i ulike tilstander (kø, innlagt til operasjon, friskmeldt etc.). Modellen har med andre ord to elementer: *Bestanden* av personer i gitte *tilstander* og *strømmen* av personer mellom disse tilstandene (2). I tillegg har modellen variabler med inputverdier som definerer og styrer strømmen av personer. Disse verdiene er enten eksternt definert av bruker eller de er internt generert av statistiske forhåndsprogrammerte formler i selve programmet.

Å studere flyt av pasientstrømmer gjør at vi kan fokusere på behandlingsprosessen og statistikk på et overordnet plan. Dette medfører samtidig at en simuleringsmodell er en forenkling av virkeligheten. Vi modellerer bare det vi oppfatter som er de mest sentrale sammenhengene i pasientforløpet. Jo flere sammenhenger modellen dekker, jo mer kompleks og vanskelig blir den å gjennomskue. Ulempene med forenklinger bør til enhver tid vurderes mot de fordelene man oppnår ved å bygge opp modellen med kun de mest nødvendige faktorene som antas å påvirke den prosessen man ønsker å analysere.

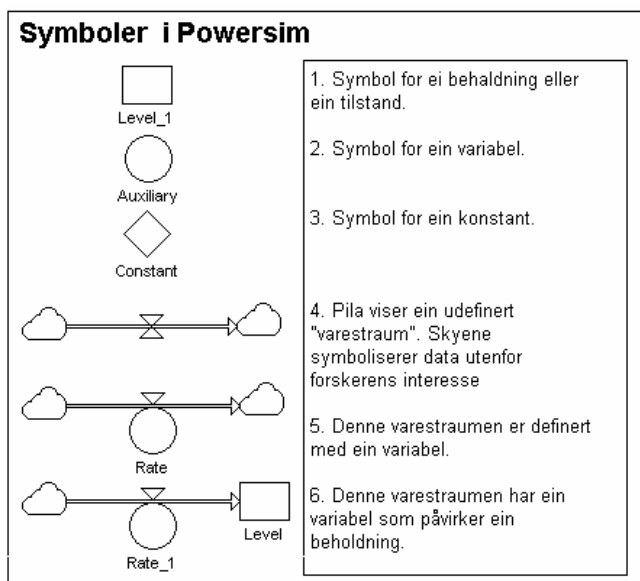
Dataprogrammet Powersim Constructor tvinger utvikleren til å modellere logiske og matematisk riktige sammenhenger. Om det programmeres feil i en ligning, varsler programmet at den ønskede simuleringen ikke er mulig med de forutsetninger som er gjort. Alle antagelser i modellen er lesbare ved at ligninger og variabler kan dokumenteres og vurderes i ettertid. Selve ligningene er satt opp på grunnlag av allmenngyldige og anerkjente matematiske og statistiske funksjoner.

Modellen visualiseres ved grafiske symboler som vi viser i en egen figur (fig 1).

Grunnelementene i modellen er disse; *Beholdningene* som symboliseres med et rektangel. Beholdningene bindes sammen med piler som symboliserer pasientstrømmens retning over et gitt tidsintervall. *Konstanter* som bringer inn faste verdier i modellen er symbolisert med rombeikon. En *variabel* som er symbolisert med en sirkel og har som oppgave for eksempel å bringe inn stokastiske sammenhenger som variasjon i ankomst av akutte pasienter. Pilhodenes retning på mothakene viser påvirkningsretningen på strømmer/lenker mellom variabler og konstanter. Skyer symboliserer at varestrømmen på dette tidspunkt er utenfor vår interesse.

Alle variabler og matematiske formler er lett tilgjengelig med et eget brukergrensesnitt der alle definisjoner og verdier kommer fram i en egen tekstversjon.

Figur 1



Variablene og beholdningene som simuleres i en overordnet modell gis et eget intuitivt navn og vises med egne grafiske symboler for hvilken egenskap de tilfører modellen.

Vårt eksempel tar utgangspunkt i insidens av en sykdomstilstand som krever operasjon på et sykehus. Pasientene strømmes fra en tilstand til en annen: Diagnostisert, i kø, under behandling, og helbredet. Tilgang på pasienter defineres stokastisk dvs. utsatt for tilfeldigheter. Prosessen kan for eksempel defineres som en normalfordeling, som en poissonfordeling eller som andre relevante fordelinger.

Tall fra SAMDATA viser at liggetider og forbruk av helsetjenester varierer mye fra helseregion til helseregion, og fra sykehus til sykehus (8). Simuleringene i denne artikkelen er ikke tilordnet rammebetingelsene til noe spesielt sykehus, og vi anslår de statistiske fordelingene av ankomster og liggetider. Dette er gjort dels etter skjønn og dels på grunnlag av erfaringer vi har tilegnet oss ved simuleringer av modellen.

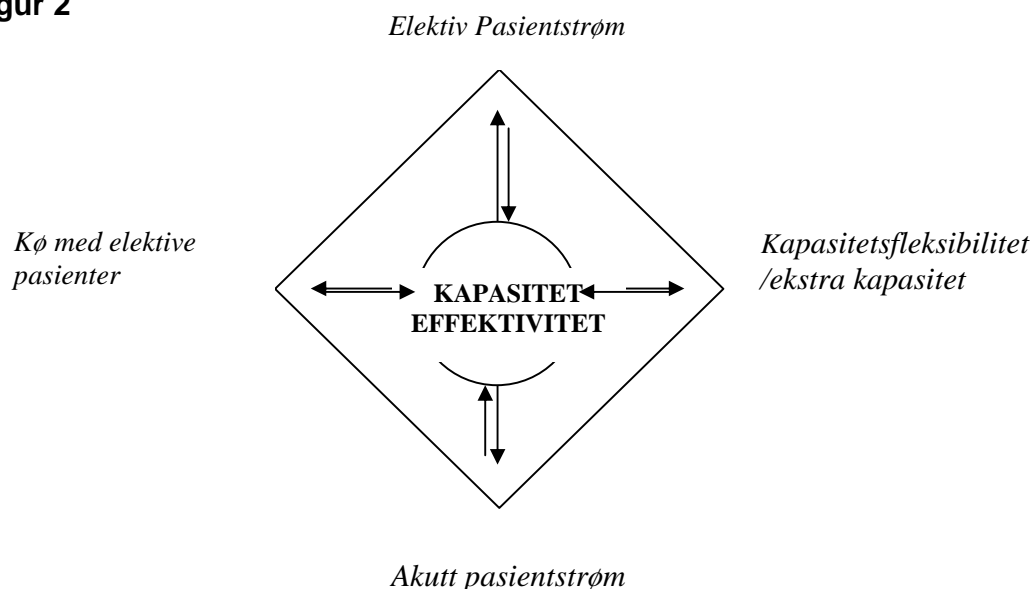
Parametrene for pasientankomst, liggetider, og kapasitet kan tilpasses verdier for et virkelig sykehus. Men foreløpig er våre analyser kun basert på simuleringer av generelle mekanismer og funksjoner i pasienttilstrømning og kapasitetsutnytting.

Spenningsforhold i en sykehusavdeling / systemdynamikk

Med systemdynamikk som utgangspunkt utviklet vi en datamodell som består av rundt 250 komponenter som etterligner et sykehus med mottak av elektive og øyeblikkelig hjelp pasienter som ankommer. Vi har modellert to ulike system for å organisere kapasitet brukt på de to pasientgruppene; en løsning med separat akutt og elektiv avdeling, og en løsning med en kombinert avdeling for elektive og akutte pasienter. Modellen tar utgangspunkt i tanken at det er flere årsak-virkning sammenhenger som gir spenninger som påvirker kapasitetsutnyttelsen og effektivitet i drift av avdelingene.

Vi forventer i vår analyse at avdelingens evne til å utnytte kapasitet effektivt henger sammen med fire ulike faktorer som løper langs fire akser (fig 2). På den vertikale akse ankommer pasientstrømmene av elektive og akutte pasienter inn til behandling til sykehuset. På den horisontale akse finner vi mekanismer for å håndtere kapasitetsutnyttelsen, vi kaller dette *kapasitetseffektivitet*; en kømekanisme for å ordne de elektive pasientene i en venteordning til behandling. På den andre siden avdelingens muligheter til å prioritere mellom akutt og elektiv kapasitet som vi heretter kaller *kapasitetsfleksibilitet*. I tillegg til kapasitetsfleksibiliteten har også avdelingen muligheten til å tilføre ekstra kapasitet til avdelingen.

Figur 2



Modellen viser de overordnede årsak – virkning forhold vi antar vil påvirke kapasitets-effektivitet i en sykehusavdeling; pasienttilstrømmingen, køordning for de elektive pasientene, og kapasitetsfleksibilitet/mulighet til å tilføre ekstra kapasitet

Hva de ulike faktorene medfører for avdelingens evne til å utnytte kapasitetseffektiviteten forklares slik: På den horisontale akse påvirkes avdelingens kapasitetseffektivitet av køen av elektive pasienter. En kø sikrer at det stadig kommer inn pasienter til behandling slik at avdelingen ikke får stille perioder der ressursen ikke blir utnyttet. Vårt utgangspunkt for analysen er at det er uaktuelt å bygge ut kapasitet som er stor nok til å unngå all kø. En kø for behandling må sees i forhold til en samfunnsøkonomisk optimal drift og god ressursbruk på avdelingen. På den andre siden påvirkes kapasitetseffektiviteten av fleksibilitet mellom ressursbruk på akutt og elektiv kapasitet som påløper enten det er behandlet pasienter med ordinær- eller overtidskapasitet.

Den vertikale akse viser pasientstrømmene henholdsvis de elektive og de akutte pasientene som ankommer sykehuset. Når de ankommer sykehuset ”konkurrerer” pasientene om et knapt gode siden kapasitet på avdelingen i utgangspunktet er begrenset. De akutte pasientene blir prioritert foran de elektive pasientene. Variasjon i pasienttilstrømningen og om avdelingen er delt opp i separat akutt- og elektiv avdeling eller en kombinert avdeling kan gi utslag på kapasitetseffektiviteten ved at avdelingen utnytter tilgjengelige mekanismer som å prioritere mellom akutt og elektiv kapasitet og overtidskapasitet, men også at man henviser elektive pasienter til køordninger. En stor tilstrømning av akutte pasienter til den kombinerte avdelingen vil gi utslag i økte ventetider for de elektive pasientene, eller i ytterste konsekvens at det utløses overtidskapasitet. Tilsvarende vil et stort antall akutte pasienter som ankommer separat akutt avdeling utløse behandling innenfor en overtidskapasitet.

Med vår simuleringsmodell vil vi prøve å vise om en organisasjonsform enten med kombinert eller separat mottak av akutte og elektive pasienter kan samordne tilgjengelige ressurser på en mer effektiv måte og gi en bedre kapasitetseffektivitet. Kan en av de to avdelingstypene oppnå en bedre kapasitetseffektivitet i behandling av pasienter eller oppnå andre resultatforbedringer?

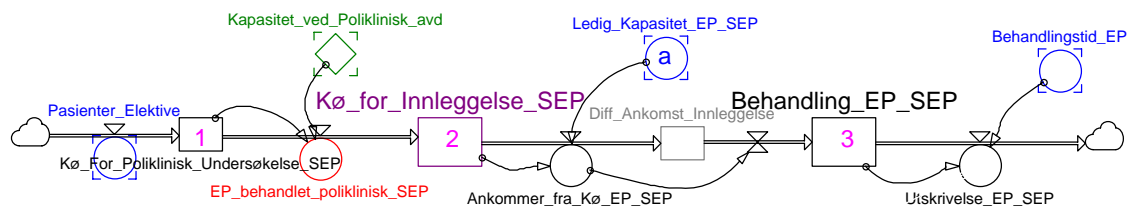
Simuleringsmodellen er sammensatt av to deler (sub-modeller) som i en forenklet form kan beskrives slik:

De separate avdelingene

Den *ene* sub-modellen beskriver et sykehus der akutte og elektive pasienter behandles på to *separate* avdelinger. Her skjer behandlingen av de elektive pasienter etter et program som ikke forstyrres av ankomst av akuttpasienter, og den akutte avdelingen behandler sine pasienter uten å ta kapasitet fra den separate (skjermede) elektive avdelingen. Separate elektive kirurgiske avdelinger er for eksempel prøvd ut ved avdelingen av St. Olav hospital i Røros, Legevakten under Ullevål Universitetssykehus og Ringerike sykehus (9).

Den separate elektive avdelingen vises i figur 3. Figuren, som leses fra venstre, viser at elektive pasienter henvist av sin allmennlege ankommer pasientstrømmen til poliklinisk undersøkelse på sykehuset. Ankommer det flere pasienter enn det er kapasitet blir de ordnet i en kø (1). Kapasiteten på poliklinisk avdeling er satt til behandling av 20 personer daglig. Etter undersøkelsen, blir pasienten satt på kø for innleggelse (2), og når det er ledig kapasitet, legges pasienten inn til behandling og operasjon (3). Pasientene blir behandlet i tur og orden etter som det er ledig kapasitet beskrevet i modellen i form av ledige senger. Den ledige kapasiteten (a) regnes ut fra totalt antall senger minus senger brukt til dagens inneliggende pasienter samt senger frigjort ved utskrivning av pasienter. Kapasiteten er et fast antall senger og med gitte ankomster og liggetider blir ventetid og behandlingstidspunkt forutsigbart for de ventende pasientene. Ved ankomst til behandling (3) er pasienten sikret behandling siden produksjonslinjen er skjermet fra ankomst av akuttpasienter. Etter en viss behandlingstid blir pasienten friskmeldt, utskrevet fra sykehuset, og forsvinner ut av vår interesse.

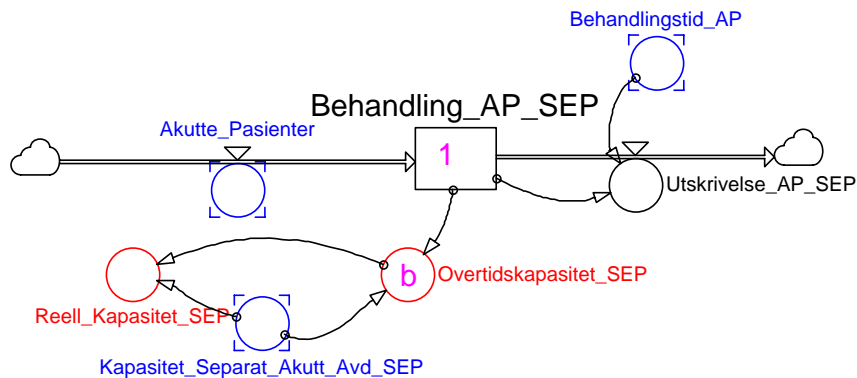
Figur 3



Pasientstrømmen ankommer sykehuset til separat elektiv avdeling først til poliklinisk undersøkelse, deretter kø for behandling, behandling og utskriving. AP = akutte pasienter. SEP = separat avdeling

Figur 4 viser simuleringsmodellen for pasientstrømmen av øyeblikkelig hjelp pasienter som ankommer separate akuttavdelingen. Akuttpasienten kommer inn i pasientstrømmen, kanskje fra en bilulykke eller sendt fra vakthavende lege på legevakten. Pasienten legges umiddelbart inn til undersøkelse og operasjon (1). Etter en viss behandlingstid skrives pasienten ut fra sykehuset og forsvinner ut av vår interesse. Kapasiteten for separat akuttavdeling er definert som et gitt antall sengeplasser, men det er modellert inn en funksjon som utløser en overtidskapasitet (b). Denne overtidskapasiteten utløses i tilfeller der det ankommer flere pasienter enn det er tilgjengelig behandlingskapasitet. Muligheten til å bruke overtidskapasitet medfører at avdelingens reelle kapasitet overstiger 100 % ved stor pågang av pasienter. Ved liten pågang vil avdelingen få lavere kapasitetsutnyttelse under 100 %.

Figur 4

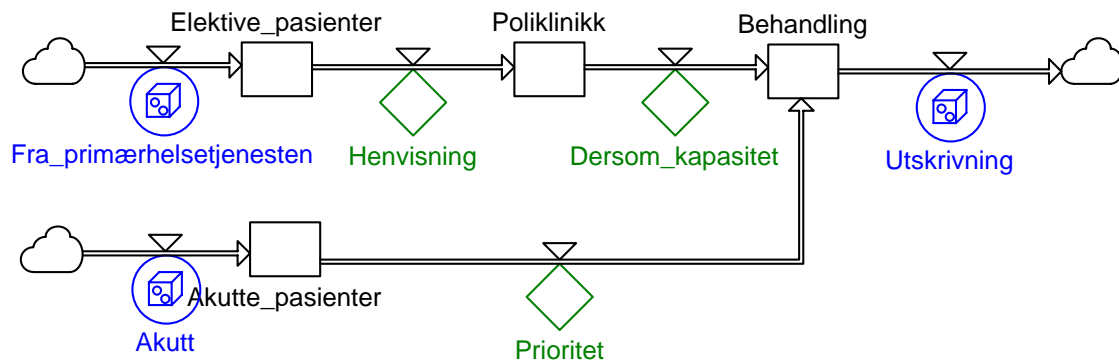


Pasientstrømmen ankommer sykehuset til separat akuttavdeling først til behandling og utskriving. AP = akutte pasienter. SEP = separat avdeling

Den kombinerte avdelingen

Den *andre* sub-modellen beskriver et sykehus der de to pasientgruppene behandles i en felles *kombinert* avdeling (fig 5). Her blir strømmen av elektive behandlinger begrenset ved at akuttpasienter gis preferanse. Dette innebærer på den ene side at en elektiv pasient klargjort til operasjon, får utsatt sin operasjon dersom en øyeblikkelig hjelp pasient ankommer og det derfor allikevel ikke blir ledig elektiv kapasitet. På den annen side vil samlet kapasitetsutnyttelsen bli høy siden det ikke er ledig kapasitet som kun venter på akutte pasienter, samtidig som det er elektive pasienter som venter på behandling. Den kombinerte avdelingen inkluderer både de akutte og de elektive pasientstrømmene som presentert i de to forrige figurene. Som for den separate elektive avdelingen (fig 3) kommer den elektive pasienten til undersøkelse på poliklinisk avdeling som har en kapasitet til å behandle 20 pasienter daglig. Etter å ha blitt undersøkt overføres pasienten til kø for innleggelse, og behandles deretter når det er ledig kapasitet på operasjonsstuen. Samtidig som elektive pasienter behandles, ankommer av øyeblikkelig hjelp pasienter til avdelingen. De akutte pasientene behandles fortløpende etter som de ankommer. For å ivareta samordningen av pasientstrømmene innenfor felles kapasitetsramme er det modellert en fordelingsfunksjon.

Figur 5



Pasientstrømmene av akutte og elektive pasienter ankommer sykehuset til kombinert avdeling. Akutte pasienter behandles med en gang, mens elektive pasienter undersøkes poliklinisk, venter i kø for behandling, behandles og utskrives.

Kort forklart virker den slik at akuttpasientene legges inn på avdelingen med førsteprioritet for behandling ved simuleringens første tidsintervall. Behandlingen av akuttpasientene trekkes fra avdelingens samlede sengekapasitet ved at tilstrømning av akuttpasienter forskyver et tilsvarende antall elektive pasienter klargjort for operasjon denne dagen. De elektive pasientene som strykes av operasjonsprogrammet settes opp i en prioritert kø. Herfra tas de fortløpende inn til behandling ved ledig kapasitet på operasjonsstuen.

Når både øyeblikkelig hjelp pasienter og den prioriterte køen av elektive pasienter er tatt unna, går resterende kapasitet til å behandle de elektive pasientene fra ordinær kø for innleggelse. Avdelingens ledige kapasitet regnes ut ved at dagens pasientbelegg minus utskrevne pasienter trekkes fra avdelingens totale sengekapasitet. En overtidskapasitet blir utløst når antall akuttpasienter blir så mange at det ikke lenger finnes elektive pasienter å forskyve fra behandling.

Prioritering av akuttpasienter medfører noe usikkerhet for elektive pasienter ved innleggelse. Noen forskyves fra behandling og må vente i kort tid i prioritert kø til det er ledig kapasitet. En slik strykning av operasjonsprogrammet kan oppleves som en belastning for den enkelte pasienten (10). På den andre side vil modellen hele tiden utnytte den ledige

kapasiteten til å behandle pasienter fra innleggelseskøen. I tider der det er tilstrømming av få øyeblikkelige hjelp pasienter og de som kommer har kort liggetid vil den kombinerte avdelingen utnytte all ledig kapasitet til å behandle flere elektive pasienter fra ordinær elektiv innleggelseskø.

Antakelser i simuleringen

I simuleringen av modellen har vårt utgangspunkt vært at det strømmer til et tilstrekkelig antall pasienter slik at det er en stabil 100 % kapasitetsutnyttelsen på alle avdelingene. Vi har prøvd oss frem til å finne de simuleringsverdiene på avdelingens sengekapasitet, pasienttilstrømming, kø og liggetider som vil gi en stabil utnyttelse av kapasitet. Stabilitet er kun mulig under forutsetning at det er full forutsigbarhet om pasienttilstrømming og at pasientenes liggetider er fast dvs. at det er ingen variasjon i pasientgjennomstrømming. Ventetider og overtidbruk vil dermed i vår modell først oppstå når det introduseres usikkerhet og stokastikk i tilstrømming og behandlingstid i pasientmassen.

Når det gjelder pasienttilstrømmingen har vi antatt at den daglige tilstrømmingen av elektive pasienter har en konstant størrelse på 20 individer. I modellsimuleringene har vi kun introdusert stokastikk for tilstrømmingen av øyeblikkelig hjelp pasienter, som vi har satt til ankomst av 30 individer daglig. Antallet øyeblikkelig hjelp pasienter er gitt en variasjon som er normalfordelt med et gitt standardavvik på 5.5. Normalfordelingen for ankomst av pasientene er trunkert ved at bare positive verdier er tillatt slik at man unngår å få et negativt antall individer.

Behandlingstiden for de elektive pasientene har vi gitt en fast verdi på 2,7 liggedager. For øyeblikkelig hjelp pasientene er det innført stokastikk på liggetiden og den er definert som en normalfordeling med forventning på 2,7 liggedager som er gitt et standardavvik lik 0,5 dager.

Ved simuleringsstart har vi antatt at det allerede er etablert en kø for innleggelse på henholdsvis 1000 individer i kø for innleggelse og at det også er 500 individer i kø for poliklinisk undersøkelse. En slik køordning sikrer at det hele tiden er tilsig av pasienter til behandling og avdelingen unngår dermed arbeidsledighet (3). Tidsintervallet for

simuleringene har vi satt til dager med en tidsperiode på et halvt år (178 dager), men her finnes i prinsippet ingen begrensninger for tidspenn.

Parameterverdiene brukt i simuleringene av modellen er oppsummert i tabell 1

Tabell 1 Forutsetninger for simuleringen av separat akutt og elektive avdeling samt kombinert avdeling

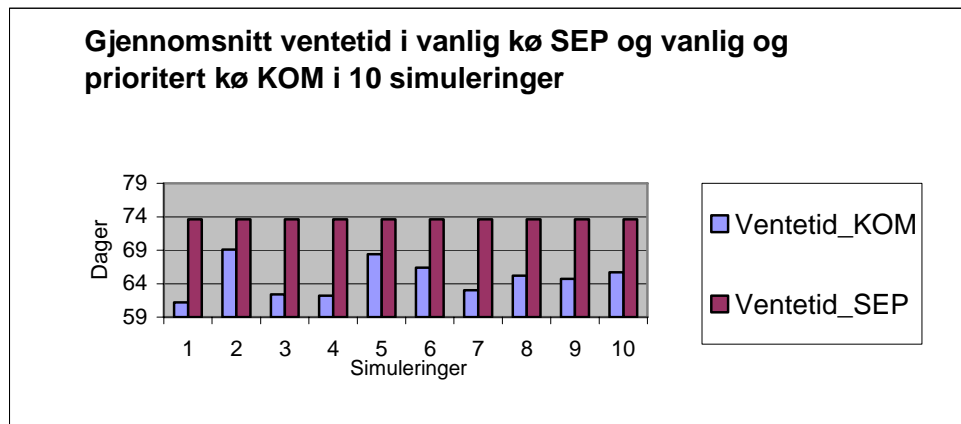
Befolkning	100 000
Tilstrømning elektive pasienter per dag	20
Tilstrømning akuttpasienter per dag	Normalfordelt med forventning 30 og standardavvik lik 5,5
Sykehusets kapasitet	140 senger
Kapasitet separate avdelinger	Elektiv 40 % Akutt 60 %
Kapasitet poliklinikk	20 pasienter per dag
Behandlingstid elektive pasienter	Fast verdi på 2,7 dager
Behandlingstid akuttpasienter	Normalfordelt med forventning 2,7 dager og standardavvik 0,5 dager
<i>Startverdier</i>	
Pasienter i poliklinisk kø	500
Pasienter i kø for behandling	1000
Under behandling	20 elektive + 30 akutte

Resultater

Resultatene fra modellkjøringene framstilles i form av pasientenes ventetid og avdelingens kapasitetsutnyttelse. En pasients samlede ventetid er beregnet som forventet tid den sist ankomne pasienten må vente til behandlingen starter gitt behandlingskapasitet og antall individer allerede i kø. Samlet ventetid er sum av ventetid til poliklinisk undersøkelse, ventetid i behandlingskø og ventetiden i den prioriterte køen. Kapasitetsutnyttelse en bestemt dag beregnes som andelen av sengene som er belagt med pasienter. Resultatet av simuleringene fremstilles som egne tidsserier i regneark. Vi har valgt å foreta 10 simuleringer av tidsserier à 178 dager.

I figur 6 framstilles resultatene for gjennomsnittlig ventetid i 10 simuleringer for de elektive pasientene i separat elektiv avdeling og i den kombinerte avdelingen. Vi ser som forventet en gjennomsnittlig ventetid i den separate elektive avdelinger stabil på 73,6 dager i alle de ti simuleringene. Full forutsigbarhet i pasienttilstrømming og ingen variasjon i liggetid gir en fast ventetid der nivået avhenger av den initiale pasientkøen. I den kombinerte avdelingen er det en identisk tilstrømming av elektive pasienter mens det introduseres stokastikk i pasienttilstrømningen av øyeblikkelig hjelp pasienter og deres liggetider. Som en følge av dette ser vi at gjennomsnittlig ventetid for de elektive pasientene varierer mellom de to ytterpunktene 61 dagers ventetid i simulering 1 til 69 dager i simulering 2. En viktig del av bakgrunnen for dette resultatet framstilles i figur 4, som viser evnen til å utnytte ledig kapasitet i den kombinerte avdelingen. I tilfeller der det ankommer få akutte pasienter vil ledig akutt kapasitet bli brukt på elektiv behandling.

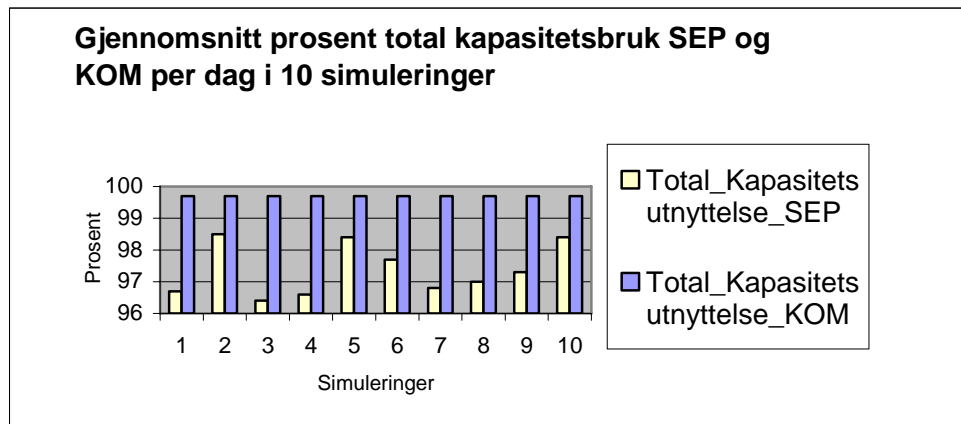
Figur 6



Gjennomsnitt ventetid i vanlig kø SEP-avdeling (elektive pasienter) og vanlig og prioritert kø i KOM-avdeling for 10 simuleringer. KOM = kombinert avdeling, SEP = separat avdeling

Mens den gjennomsnittlige kapasitetsutnyttelsen i kombinert avdeling er tilnærmet stabil på 100 % for alle simuleringer, vil den tilsvarende samlede kapasitetsutnyttelsen for separat elektiv og akutt avdeling bli mindre og variere fra simulering til simulering (fig 7). Grunnen til denne forskjellen ligger i ulik fleksibilitet i bruk av behandlingskapasitet. Hvis ankomst av akuttpasienter er liten, vil den ledige kapasiteten som oppstår i kombinert avdeling bli brukt til å behandle elektive pasienter. I separate avdelinger vil derimot kapasiteten stå ubrukt. Med uventet stor pågang av akutte, vil kapasiteten i den kombinerte avdelingen tiltenkt elektive bli brukt til øyeblikkelig hjelp pasienter. Det er kun i situasjoner når all ordinær kapasitet i den kombinerte avdelingen er brukt til de akutte at det er aktuelt med overtidskapasitet. Denne forskjellen gjenspeiles i modellresultatene. Ved stor tilgang av øyeblikkelig hjelp pasienter på den separate akutte avdelingen vil dette tas unna ved hjelp av overtidskapasitet. Den gjennomsnittlige overtidskapasiteten brukt under de ti simuleringene i separat avdeling er tre senger, mens det ikke blir utløst overtid i den kombinerte avdelingen.

Figur 7



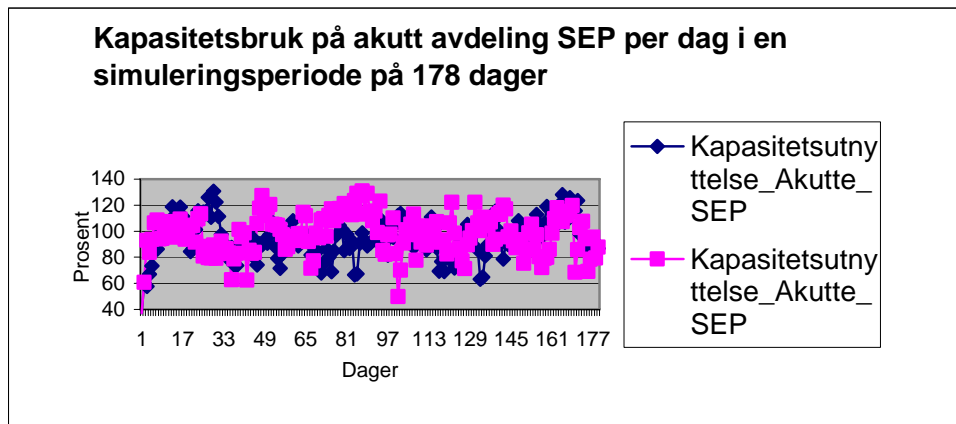
*Gjennomsnitt prosent total kapasitetsbruk SEP-avdeling og KOM-avdeling i 10 simuleringer.
KOM = kombinert avdeling, SEP = separat avdeling*

Neste figur viser daglig kapasitetsutnyttelse for den separate akutte avdelingen (fig 8). Vi tar med simuleringene som oppnår de mest ekstreme variasjonene i kapasitetsutnyttelse. Vi ser at vi kan forvente oss en daglig kapasitetsutnyttelse med en minimumsverdi på 50 % (simulering 1) og en maksimumsverdi på 130 % (simulering 2) på avdelingen.

Kapasitetsutnyttelsen svinger mye alt etter variasjon av tilstrømming av akutte pasienter og deres liggetid. I simulering 2 var det unormalt mye variasjon i pågang av akuttpasienter som utløste en så høy overtids kapasitet. Men det at det ankommer flere pasienter enn det er ledig kapasitet er en for enkel forklaring. Utløsningen av den høye overtidskapasiteten henger også sammen med at avdelingen allerede hadde et høyt pasientbelegg som hadde lang liggetid da toppen av øyeblikkelig hjelp strømmet inn. I perioder kommer det få akuttpasienter og det er roligere tider på avdelingen.

Store forskjeller i kapasitetsutnyttelse vises ikke når de blir målt som prosentvis gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse. Dette målet på kapasitetsutnyttelse viser slik ikke hele sannheten siden det glatter ut ytterverdier.

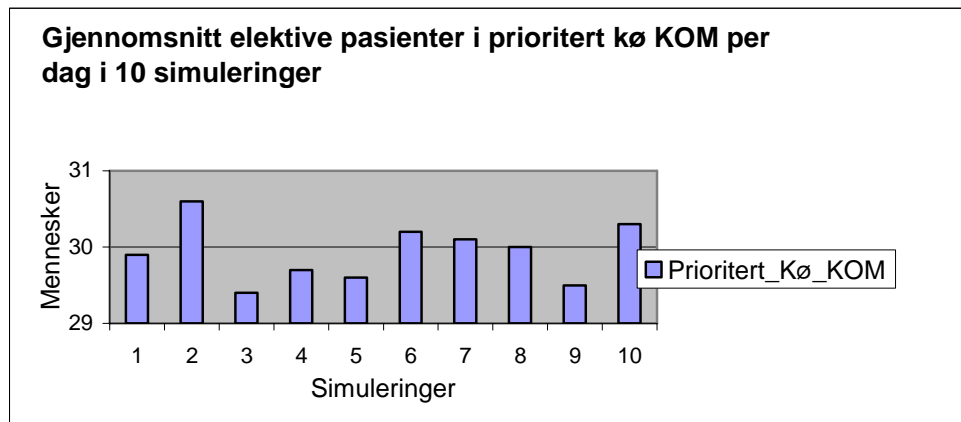
Figur 8



*Kapasitetsbruk på akutt avdeling SEP-avdeling per dag i en simuleringsperiode på 178 dager.
KOM = kombinert avdeling, SEP = separat avdeling*

For pasientene ved den separate elektive avdelingen er fordelene med skjermet avdeling at sjansen for å bli strøket av programmet og dermed å havne i prioritert kø er liten. Vi ser fra neste figur at det gjennomsnittlige antall elektive pasienter i prioritert kø i den kombinerte avdelingen vil variere mellom 29,4 pasienter i simulering 3 og 30,6 pasienter i simulering 2 (fig 9). I gjennomsnitt må de vente 0,7 dager i den prioriterte køen før de kommer til operasjon.

Figur 9

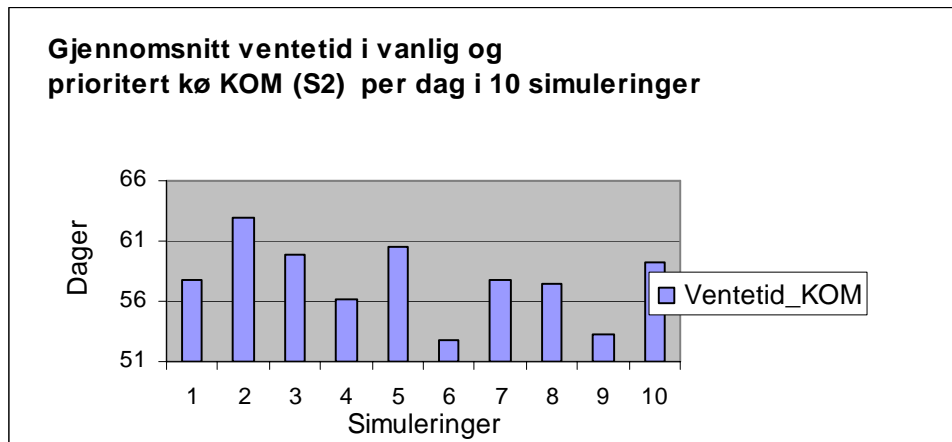


*Gjennomsnitt elektive pasienter i prioritert kø KOM per dag i 10 simuleringer.
KOM = kombinert avdeling, SEP = separat avdeling*

I og med at det i simuleringen av den separate akutte avdelingen utløses en god del overtidskapasitet, innebærer det at den faktiske ressurstilgangen blir større i systemet med separate avdelinger enn i systemet med kombinert avdeling for akutte og elektive pasienter. Denne ulikheten må vi korrigere for i en sammenligning og vurdering av de to systemene. Vi kan korrigere for skjevhet i ressurstilgang ved å legge den gjennomsnittlige overtidsbruken i systemet med separate avdelinger, som gjennomsnittelig for alle simuleringene er 3 sengeplasser, til den faste senge- kapasiteten i det kombinerte avdelingen. Den kombinerte avdelingen vil da få en samlet kapasitet på 53 sengeplasser.

Den gjennomsnittlige ventetiden i den kombinert avdelingen etter korreksjonen er framstilt i figur 10. Vi finner nå som forventet at gjennomsnittlige ventetid for de elektive reduseres og varierer mellom to ytterliggende punkter med en minimumsverdi på 52,7 dager i simulering 6 og en maksimumsverdi på 63 dager i simulering 2. Tatt over alle simuleringene har den gjennomsnittlige ventetiden for de elektive pasientene blitt redusert med hele 7 dager i forhold til ventetid før ekstra kapasitet ble tilført, med henvisning til resultater presentert i figur 7.

Figur 10



Gjennomsnitt ventetid i vanlig og prioritert kø KOM-avdeling per dag i 10 simuleringer. Den kombinerte avdelingen er tilført 3 ekstra sengeplasser Total sengekapasitet . KOM = kombinert avdeling, SEP = separat avdeling

Vi ser ut fra resultatene at variasjon i tilstrømming av akutte pasienter betyr mye for kapasitetsutnyttelse og effektivitet. Sykehusene er i dag forpliktet til å ta imot øyeblikkelig hjelp pasienter. Variasjon i tilstrømming av de akutte pasientene vil nødvendigvis medføre viktige konsekvenser for vurdering av størrelse på sykehusenes opptaksområder for pasienter. Det gjelder generelt at variasjonskoeffisienten (standardavvik dividert med forventningen) for akutte ankomster reduseres med størrelsen på sykehusets opptaksområde. Bakgrunnen for dette har å gjøre med uavhengige hendelser, som for eksempel trafikkulykker. Anta at det er to identiske sykehus med like store opptaksområder. Anta at det i hvert område er en sannsynlighet på 1 % for at det en vilkårlig dag skal skje en alvorlig trafikkulykke. Ved en alvorlig trafikkulykke blir all elektiv operasjonsvirksomhet utsatt, og innkalte pasienter henvises til prioritert kø. Hvis trafikkulykkene er uavhengige hendelser, vil sannsynligheten for at det skal skje to store trafikkulykker samtidig i det utvidede området være 0,01 %. Hvis to sykehus slår seg sammen og ny akutt kapasitet tilsvarer sum av akutt kapasitet i hvert av de to tidligere sykehusene, vil dermed sannsynligheten for at elektive operasjoner blir avlyst, bli betydelig redusert. Utfra resultatene i avsnittet over vil vi forvente

at ventetiden for elektive pasienter blir redusert ved kombinerte avdelinger. Ved separate avdelinger forventer vi mindre overtid og mindre ledig kapasitet i akuttavdelingen siden pasienttilgangen blir mer forutsigbar.

Diskusjon

Vi ser at det er både fordeler og ulemper med å behandle pasientene på separate akutt og elektive avdelinger og kombinerte avdelinger. En samstilling av simuleringsresultatene er vist under i tabell 2 og vi ser at kombinert avdeling har stor kapasitetseffektivitet, og har utnyttet ledig akutt kapasitet til elektiv behandling som igjen har medført lavere ventetid, men har en prioritert kø med ventetid på en 0,7 dager. De separate avdelingene har en stabil ventetid for elektive pasienter, og har en total kapasitetsutnyttelse fra 96,4 til 98,5 der det skjuler seg perioder med ledig kapasitet og mye bruk av overtidskapasitet.

Tabell 2 Sammendrag av resultater fra 10 simuleringer

10 simuleringer/180 dager	Separate avdelinger	Kombinert avdeling
Ventetid (dager)	Stabil på 73,6	61 – 69
Total kapasitetsutnyttelse (%)	96,4 - 98,5 ¹	Stabil på 100
Prioritert kø (pasienter)	Finnes ikke	29,4 - 30,6
Ventetid i prioritert kø (dager)	Finnes ikke	0,7
Ekstra kapasitet brukt på separat akutt avdeling	Overtid tilsvarende 3 faste sengeplasser	-
Ventetid når kombinert avdeling fikk ekstra kapasitet på 3 senger	-	Varierer mellom 52,7 og 63 dager. Tatt over alle simuleringene vil gjennomsnittlige ventetid reduseres med 7 dager.

¹ Kapasitetsutnyttelsen ved separat akutt avdeling svinger mye. I simulering 2 varierer den mellom maksimumsverdi på 130 % og minimumsverdi på 50 %.

Vi ser at resultatene fra simuleringsmodellen medfører følgende avveining: En overgang fra kombinert avdeling til skjermet avdeling for elektiv virksomhet, medfører at strykninger og hjemsendelse av de elektive pasientene kan unngås. Samtidig medfører en mindre fleksibel bruk av den samlede kapasitet på avdelingene at ventetiden for elektive pasienter øker, at den samlede kapasitetsutnyttelsen reduseres og overtidbruken øker.

Egenskapene ved separate avdelinger, slik de simuleres i vår modell, er dermed mindre gunstige enn det som av og til framstilles i debatten om organisering av sykehusene. Samtidig kan aldri en modell bli bedre enn de antagelsene den bygger på. I denne forbindelse ser vi to svakheter ved vår modell: Den ser bort fra mulige stordriftsfordeler og spesialiseringsgevinster i produksjonen av elektive behandlinger, og den ser bort fra mulige organisasjonsproblemer i ressurskoordineringen mellom akutt og elektiv virksomhet i en kombinert avdeling.

Det første argumentet har å gjøre med mulighet til å strømlinjeforme produksjon i planlagt virksomhet. Parallell til samlebandsproduksjon er nærliggende. For eksempel kan det settes av hele dager til samme type operasjon, noe som gir mulighet for spesialiseringsgevinster i form av lite dødtid og raske operasjonen med få komplikasjoner. I samme retning trekker mulige organisasjonsproblemer i kombinerte avdelinger. Dette har både sammenheng med at store organisasjoner har vanskeligere for å koordinere ressursbruk enn små organisasjoner, og at kombinerte avdelinger skal koordinere flere typer aktiviteter enn den enkelte separate avdeling skal.

I vår modell, hvor kapasitet måles i form av senger, kan vi undersøke hvor mye liggetiden må reduseres i systemet med separate avdelinger for at ventetiden skal bli tilsvarende som i den kombinerte avdelingen. Ved å redusere liggetid for elektive pasienter fra 2,7 til 2,5 dager oppnår vi en ventetid for separat elektiv avdeling som er den samme som ventetid ved den kombinerte avdelingen. Dette innebærer at effektiviseringsgevinsten ved separat elektiv avdeling må være minst 7 % for at den gjennomsnittlige ventetiden for behandling i separat avdeling skal være lik ventetid i kombinert avdeling.

Kapasitet målt i form av senger kan være en begrensning som vår modell ikke tar opp i tilstrekkelig grad. Separat akuttavdeling får tilført ekstra antall senger fra en pool som er ubegrenset. En engelsk studie viser derimot at en akuttavdeling bør ha maksimum 85 %

beleggsprosent, og at resterende kapasitet bør settes av til "buffer" i tilfelle økt ankomst av pasienter. Den engelske studien viser at sykehus med en øyeblikkelig hjelp beredskap på 10 % eller mindre løper stor risiko for kriser forårsaket av mangel på sengeplasser (11). I våre simuleringer har vi gått ut fra en maksimal utnyttelse av kapasitet uten bruk av en bufferkapasitet. Våre resultater kan dermed illustrere den sårbarheten overfor variasjon i ankomst av de akutte pasientene som sykehuset står ovenfor. Simuleringsresultatene viser at ved simuleringer av separate akutte avdelinger ved to tilfeller i løpet av ½ år har en daglig pasienttilstrømming der behovet for sengeplasser øker med 1/3 av eksisterende kapasitet (fig 8). Dette ville i det virkelige liv trolig gitt betydelige problemer med å skaffe plass for de nyankomne pasientene. En sengekrise kunne vært unngått ved å ha hatt en bufferkapasitet. Man kan fra den engelske studien argumentere for at størrelsen på den separate akuttavdelingen i våre simuleringer er satt for lavt i forhold til den reelle variasjonen i tilstrømmingen av øyeblikkelig hjelp pasienter. Kapasitet i form av sengeplasser er ikke en begrensning i samme grad for den kombinerte avdelingen. Den kombinerte avdelingen kan ta imot et større antall øyeblikkelig hjelp pasienter ved å forskyve de elektive pasientene fra operasjon og redusere inntaket fra ordinær elektiv innleggelseskø. I den kombinerte avdelingen bruker vi prioritert kø og lengre ventetid i ordinær kø som "buffer" løsning.

Flaskehalser på avdelingen kan skyldes mangel på personell eller operasjonsstuer. Også her tar vår simuleringsmodell det for gitt av avdelingen fyller opp sine vaktlister fra en pool av tilgjengelig helsepersonell. I virkeligheten kan situasjonen være enn annen, kanskje har avdelingsleder problem med å fylle opp vaktlistene? Men tidligere studier har ikke påvist noen sammenheng mellom ventetider for behandling og ressurs og pressfaktorer på sykehusene (12), så vi antar at problemet er mer komplekst enn de forklaringsvariabler som åpenbart er lettest å gripe til som mangel på personell. Ut fra våre simuleringsresultater er det den separate akutte avdelingen som er mest sårbar for personalmangel i og med at den bruker mye overtidskapasitet. Den kombinerte avdeling ville klare seg med sitt faste personale og vil utnytte ledig arbeidskapasitet på en effektiv måte.

I den kombinerte avdelingen står de elektive pasientene overfor usikkerhet på operasjonsdagen siden de "konkurrerer" med øyeblikkelig hjelp pasienter om tilgjengelig kapasitet. Det finnes kunnskap om statistikk over når på dagen og i uken det ankommer flest akutte pasienter som kan brukes til å planlegge behandling av de elektive pasientene når det

er forventet ledig elektiv kapasitet. Erfaringer ved norske sykehus viser at det ankommer flest øyeblikkelig hjelp pasienter mellom kl.12 og 20, med mest press på ukedagene; mandag, torsdag og fredag (13). Med en god planlegging kan man muligens koordinere ressursbruken slik at strykninger av de elektive operasjoner reduseres og elektiv operasjoner passer inn med ankomst av øyeblikkelig hjelp pasienter. Som en kompensasjon for usikkerhet på operasjonsdagen vil den elektive pasienten få kortere tid i ordinær kø før behandling.

Antall øyeblikkelige hjelp innleggelser øker i forhold til de elektive innleggelsene (8). Denne tendensen ser man også på engelske sykehus (11). Trendene viser at øyeblikkelig hjelp øker især på medisinske avdelinger og spesielt for pasienter som er over 65 år. I tidsrommet 1991-1995 økte forbruket av sykehus tjenester blant eldre over 80 år med hele ti prosent (13). Mest press er det på indremedisinske avdelinger, noe mindre på de kirurgiske avdelingen. Økningen i øyeblikkelig hjelp er større enn det vi kan forklare av demografiske endringer, og reinnleggelser for pasienter over 80 år kan være en del av forklaringen (13). Sykehusene må forholde seg til en økende andel øyeblikkelig hjelp innleggelser. Det har blitt stilt spørsmål om det fra sykehusets side er mulig å påvirke antall akuttpasienter? En undersøkelse gjort i et sykehus viser at 20-25 % øyeblikkelige hjelp henvendelser kunne vært unngått (14). Sykehusene kan i noen grad påvirke hvor mange akutte pasienter de tar imot. De akutte pasientene som ikke kvalifiserer til øyeblikkelig hjelp kan kanaliseres til elektiv behandling og dagkirurgi. Avveiningen om øyeblikkelig hjelp er nødvendig (f. eks. krav til behandling innen 24 timer) kan gjøres av vakthavende lege når pasienten ankommer akuttmottaket. Avvisninger av unødvendige øyeblikkelig hjelp henvendelser kan også gjøres av for eksempel av kvalifiserte personale i ambulanse-tjenesten. Det kan også oppfordres til at fastlegene ikke sender sine pasienter til akuttbehandling når det åpenbart ikke er behov (11). Dette viser at sykehuset til en viss grad kan påvirke tilstrømningen av øyeblikkelig hjelp pasienter og få bedre oversikt.

Vi retter en stor takk til konsulentene Hilde Martinussen og Steinar Moen fra Bergensfirmaet Powersim Software AS som vi har samarbeidet med i utviklingen av simuleringsmodellen.

Referanser

- 1 Powersim 2.5 Reference Manual. Isdalstø, Powersim AS, 1996
- 2 Powersim 2.5 Introduction to system dynamics. Isdalstø, Powersim AS, 1996
- 3 Waaler H Th, Iversen T. Køer som resultat av statistiske tilfeldigheter. Tidsskr Nor Lægeforen, 1998; 118: 4742-5
- 4 Byrknes AH. Modellering og systemdynamikk. Gyldendal Norsk Forlag ASA 200, ISBN 82-05-26825-8
- 5 Forrester J. Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century. Speech given at Systems Thinking and Dynamic Modeling Conference for K-12 Education, 1994, Concorde Academy USA.
- 6 Quaglinia S, Stefanellia M, Lanzolaa G, Caporussob V, Panzarasab S. Flexible guideline-based patient care flow systems. Artificial Intelligence in Medicine 22 (2001) 65-80
- 7 Harper, PR. A Framework for Operational Modelling of Hospital Resources. Health Care Management Science 5, 165-173. 2002, Kluwer Academic Publisher.
- 8 Torvik H (red). SAMDATA sykehus, sammenligningsdata for den somatiske spesialisthelsetjenesten 2002. SINTEF Unimed Helsetjenesteforskning
<http://www.sintef.no/units/unimed/samdata-prosjektet/>
- 9 Kjekshus LE, Nerland SM, Botten G, Hagen TP. De somatiske sykehusenes interne organisering - En kartlegging av 58 somatiske sykehus i Norge, 1999 og 2001. Helseøkonomisk forskningsprogram ved Universitetet i Oslo, Skriftserie 2002:1
http://www.hero.uio.no/publicat/2002/HERO2002_1.pdf

10 Hauge HN. Strøket av programmet. Spesialoppgave 1998 ved Kandidatstudiet ved Senter for helseadministrasjon, Universitetet i Oslo.

11 Bagust A, Place M, Posnett JW. Dynamics of bed use in accommodating emergency admission: stochastic simulation model. BMJ Volume 319, 17 July 1999, 155-158.

12 Piene H, Loeb M, Hem KG. Sykehuskapasitet og ventetid for behandling – er det noen sammenheng?. Tidsskr Nor Lægeforen 2000; 120: 2616

13 Norges offentlige utredninger. [Hvis det haster... Faglige krav til akuttmedisinsk beredskap. NOU 1998:9](#). Oslo: Statens forvaltningstjeneste, Seksjon statens trykning, 1998.

14 Melsom R, Mellesmo S. Nødvendigheten av innleggelser, belyst ved en undersøkelse av øyeblikkelig hjelp ved Sentralsykehuset i Akershus. Senter for helseadministrasjon, Universitetet i Oslo, Rapport 1999:2